# CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA *IN SITU* E SUA RELAÇÃO COM O POTENCIAL MATRICIAL EM PARCELAS DE EROSÃO COM DIFERENTES USOS

Anna Regina Corbo COSTA[1]
Ana Valéria Freire Allemão BERTOLINO[2]
Monique Aguiar NORKUS[3]
Luiz Carlos BERTOLINO[4]
Nelson Ferreira FERNANDES[5]

## RESUMO

A penetração de água no solo pode ser uma forma de prever a velocidade do processo erosivo ou de inundações. Como processos específicos de grande interesse e importância, podemos citar a infiltração, a redistribuição e a evaporação da água pelos solos. Desta forma, encontrar características de determinado solo que influenciam diretamente no movimento da água é de suma importância. Este estudo teve por objetivo principal caracterizar a condutividade hidráulica e a dinâmica do movimento vertical da água para duas parcelas de erosão com diferentes tipos de uso. O estudo foi realizado na Estação Experimental do Departamento de Geografia da Faculdade de Formação de Professores - UERJ, no Município de São Gonçalo, Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. Foram realizados ensaios de permeabilidade saturada em duas parcelas de erosão de 10m² com declividade média de 20% e os seguintes usos: a) Parcela SC - sistema sem cobertura vegetal; b) Parcela GR - sistema onde foram cultivadas gramíneas do tipo braquiária (*Brachiaria decumbens Staf.*). O solo na área SC apresenta textura franco-arenosa tanto na camada mais superficial (10cm), quanto na de subsuperfície (25 cm). A área GR apresenta um solo franco-argilo-arenoso na profundidade superficial e franco-arenoso na profundidade de subsuperfície. De forma a caracterizar a condutividade hidráulica das parcelas SC e GR realizou-se duas baterias de ensaios com o Permeâmetro de Guelph Modificado (PGM): a primeira, a uma profundidade de 25 cm e a segunda a 10 cm. A cada ensaio realizado com o PGM foram realizadas leituras dos tensiômetros instalados na porção alta das parcelas, nas profundidades de 15 e 30 cm, com a finalidade de acompanhar a frente de umidecimento do perfil. As leituras do PGM e dos tensiômetros foram realizadas, simultaneamente, com intervalos iniciais de 2 minutos. Os resultados obtidos no que se refere à caracterização da condutividade hidráulica mostram que a condutividade dos dois pontos é a mesma na profundidade de 25 cm, uma vez que as parcelas SC e GR apresentam texturas similares na profundidade de subsuperfície. Por outro lado, na profundidade de 10 cm, foi possível observar de maneira satisfatória a influência dos valores de macroporosidade que proporcionaram junto com as raízes um aumento na condutividade hidráulica da parcela GR em relação à parcela SC. Em valores numéricos, a condutividade hidráulica obtida no sistema SC é igual a 0,852141 x $10^{-3}$ cm.$s^{-1}$ e no sistema GR é igual a 0,1414351 x $10^{-2}$ cm.$s^{-1}$. Os resultados obtidos através do potencial matricial durante os ensaios indicam que a parcela SC demorou cerca de 4:30h para variar de -6,5 a -0,3kPa na profundidade de 15cm, enquanto que, na profundidade de 30cm, houveram alterações significativas somente após 4:30h de experimento, onde registrou-se a variação de -6,5 a -3,9kPa nas duas horas finais do ensaio. Isto é explicado pelo alto grau de compactação da camada superficial da parcela sem cobertura vegetal que pode está acarretando efeitos nas

[1] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Bolsista PROATEC, e-mail: anna@labgeoffp.com
[2] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Professor Doutor - DGEO/FFP.
[3] Universidade Federal do Rio de Janeiro, Bolsista de Iniciação Científica.
[4] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Professor Doutor - DGEO/FFP.
[5] Universidade Federal do Rio de Janeiro, Professor Doutor - PPGG.

propriedades físicas e, consequentemente, dificultando as condições de infiltração. Por outro lado, o potencial matricial da parcela GR, apresentou respostas bem distintas: na profundidade de 15cm, a variação foi de cerca de -3 kPa; os valores na profundidade de 30cm praticamente não registraram variação, ficando os registros em valores próximos a - 4 kPa em 30 min de ensaio. Os resultados da parcela de GR demonstraram que, na profundidade superficial, os sistemas radiculares influenciaram diretamente no comportamento do fluxo de água dentro do solo.

## INTRODUÇÃO

Buscar o entendimento da dinâmica hídrica de uma determinada região é buscar uma importante ferramenta para o planejamento do espaço, através da compreensão da dinâmica física da água na atmosfera e no solo e seus impactos no espaço geográfico.

O solo é um sistema complexo, constituído de partículas sólidas que por sua vez formam um arranjo poroso capaz de armazenar líquidos e gases (Reichardt, 1987). A descrição dos processos dinâmicos da água em solos não-saturados se relacionam com assuntos como planejamento da irrigação e do manejo do solo, ecologia das plantas e com a biologia da fauna e flora do solo. Além disso, a penetração de água no solo pode ser uma forma de prever a velocidade do processo erosivo ou de inundações uma vez que quando a taxa de infiltração diminui, na maior parte das vezes, aumenta o escoamento superficial (Barcelos *et al*, 1999). Como processos específicos de grande interesse e importância, podemos citar a infiltração, a redistribuição e a evaporação da água pelos solos.

A determinaçao da condutividade hidráulica e do movimento do fluxo de água dentro do solo constitui grande interesse, especialmente em problemas relacionados à otimização do manejo da água na agricultura, na irrigação e drenagem de terras agrícolas (Prevedello, 1996). Desta forma, encontrar características de determinado solo que influenciam diretamente no movimento da água é de suma importância. Este estudo teve por objetivo principal caracterizar a condutividade hidráulica e a dinâmica do movimento vertical da água para um solo com dois diferentes tipos de uso.

## CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Caracterísiticas físicas do solo determinam os processos hidrológicos que nele ocorrem. Deste processo, podemos classificar como os mais importantes: infiltração; redistribuição da água no solo, seguida de infiltração; drenagem; evaporação e evapotranspiração. A descrição destes processos é de suma importância quando objetivamos entendê-los.

A infiltração vertical da água em meios porosos não–saturados é governada pela equação de Richards, em uma dimensão, que expressa o princípio da conservação de massa e a lei de Darcy. Dentre os modelos teóricos descritivos do processo, destaca-se o modelo desenvolvido por Philip (1957). Este desenvolveu uma série de estudos e equações para representar o processo de infiltração, em solo homogêneo e infinitamente profundo, a partir da equação de Richards. Uma destas equações é descrita a seguir:

$$i = \frac{1}{2} S t^{-1/2} + K_s \qquad (1)$$

Onde:
$i$ = taxa de infiltração instantânea ($L.T^{-1}$);
$S$ = sortividade do solo ($L.T^{-1/2}$);
$t$ = tempo (T);
$K_s$ = condutividade hidráulica do solo em condições de saturação ($L.T^{-1}$ ).

Por outro lado, Horton (1933) desenvolveu um modelo empírico bastante consistente e de resultados razoáveis. Nele, devido ao comportamento usual da infiltração em dados observados em campo, o fenômeno é descrito na forma de uma equação exponencial:

$$i = i_f + (i_o - i_f)e^{-\beta t} \qquad (2)$$

Onde:
$i$ = taxa de infiltração instantânea ($L.T^{-1}$);;
$t$ = tempo(T);
$i_O$, $i_f$ = taxa de infiltração inicial e final, respectivamente ($L.T^{-1}$);
$\beta$= constante de decaimento ($T^{-1}$).

É importante enfatizar que a equação de Richards provém da Lei de Darcy, sendo esta a que descreve o movimento de um fluido em um meio saturado. Desta forma, a condutividade hidráulica ($K_s$) é o coeficiente de proporcionalidade da Lei de Darcy e expressa a capacidade de transmissão de água no solo. É um coeficiente que expressa a facilidade com que um fluido é transportado através do meio poroso e que depende tanto das propriedades do meio como das do fluido.

$$\textit{Lei de Darcy: } Q = K_s \cdot \frac{\Delta h}{L} \qquad (3)$$

Onde:
$Q$ = o fluxo de saída $(L.T^{-1})$;
$K_s$ = condutividade hidráulica do solo em condições de saturação ($L.T^{-1}$);
$\Delta h/L$ = gradiente hidráulico do solo.

O valor da condutividade hidráulica pode variar de acordo com a tipologia dos materias e esta variação é válida tanto para um meio saturado quanto para não-saturado. Neste, a variação é também influenciada por características físicas dos solos e pelo teor de umidade do material. Na figura 1 é possível observar uma classificação aproximada da condutividade hidráulica de acordo com diferentes faixas texturais.

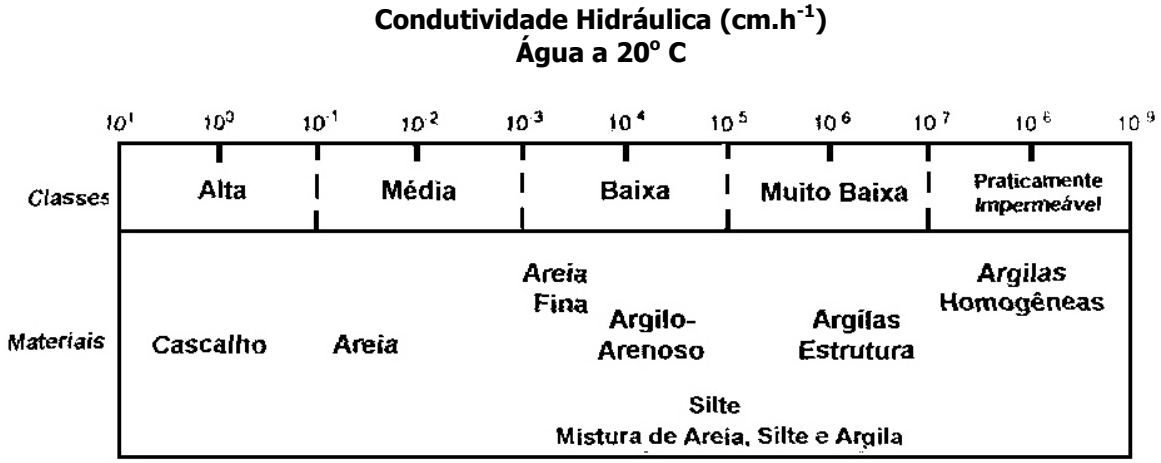


Figura 1. Classificação da condutividade hidráulica de acordo com diferentes faixas texturais (Klute e Dirksen, 1986 *apud* Vieira, 2001).

Por outro lado, a retenção e o movimento de água no solo, sua captação e transporte pelas plantas, assim como a sua liberação para a atmosfera, são todos fenômenos diretamente associados ao estado de energia da água no solo (Brady, 1989). Considerando que a energia total da água dentro deste é dada pela soma da componente cinética e da

componente potencial, como o movimento da água no solo é muito lento, a componente cinética é desprezivel. Logo, a componente potencial assume grande importância na determinação do estado de energia da água no solo e desta forma pode-se associar o movimento da água dentro do solo às diferenças de potencial total da água entre um ponto e outro no interior do solo.

## MÉTODOS e TÉCNICAS

O estudo foi realizado na Estação Experimental do Departamento de Geografia da UERJ encontra-se na Faculdade de Formação de Professores (FFP) localizada no Município de São Gonçalo, Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro (figura 2). Com base na classificação de Köppen, o clima do Município de São Gonçalo é do tipo AW, ou seja, quente e úmido, com estação chuvosa no verão, segundo dados da Estação Climatológica do *Campus*.

As parcelas de 10 $m^2$ foram instaladas em uma área que apresenta uma declividade de 20%, sendo o solo classificado como Neossolos. Por ser um solo jovem, apresenta um perfil pouco desenvolvido, com a seqüência de horizontes e camadas A – Bi – C, destacando-se o horizonte diagnóstico Bi. No que se relaciona a erodibilidade deste tipo de solo, podemos citar a sua alta taxa na concentração de partículas grosseiras como a areia grossa e fina e especialmente o de partículas finas como o silte (Leles, 2003).

Figura 1. Visão Geral da Estação Experimental do DGEO/FFP/UERJ. No detalhe, (a) Parcela SC; (b) Parcela GR.

As parcelas apresentam os seguintes usos:

a) *Parcela SC* - sistema sem cobertura vegetal;
b) *Parcela GR* - sistema onde foram cultivadas gramíneas do tipo braquiária (*Brachiaria decumbens Staf.*) através de semeadura direta.

Segundo Arruda (2004) o solo na área SC apresenta textura franco-arenosa tanto na camada mais superficial (10cm), quanto na de subsuperfície (25 cm). A área GR apresenta um solo franco-argilo-arenoso na profundidade superficial e franco-arenoso na profundidade de subsuperfície.

De forma a caracterizar a condutividade hidráulica das parcelas SC e GR foram realizados ensaios de permeabilidade saturada nas duas parcelas. Para tal, realizou-se duas baterias

de ensaios com o Permeâmetro de Guelph Modificado (Figuras 3 e 4). Na primeira bateria, em cada parcela, realizou-se o ensaio, com uma repetição, na profundidade de 25 cm na porção alta do sistema e carga de pressão de 6 cm. Na segunda bateria, foi mantida a carga de pressão de 6 cm e o número de repetições, mas a profundidade de realização do ensaio foi de 10 cm. A cada ensaio realizado com o PGM foram realizadas leituras dos tensiômetros de mercúrio instalados na porção alta das parcelas, nas profundidades de 15 e 30 cm, com a finalidade de acompanhar a frente de umidecimento do perfil. As leituras do PGM e dos tensiômetros foram realizadas, simultaneamente, com intervalos iniciais de 2 minutos.

O Permeâmetro de Guelph Modificado (PGM) consiste numa modificação realizada por Vieira (1998) no Permeâmetro de Guelph elaborado por Reynolds (1986), na Universidade de Guelph, Canadá. Este consiste num tipo de permeâmetro de carga de pressão constante que estima a condutividade hidráulica saturada de campo acima do lençol freático.

O sistema do PGM, resumidamente, consiste na aplicação de uma carga constante de água (H) em um furo de raio determinado (α), medindo-se em intervalos de tempo constantes (t), o caimento do nível de água (R), que passa em uma determinada area transversal (A) do tubo de acrilico graduado, ou seja, medindo-se o fluxo Q. A utilização deste equipamento vem mostrando, na literatura em geral, resultados bastante eficientes para estimativa da condutividade hidráulica *in situ*.

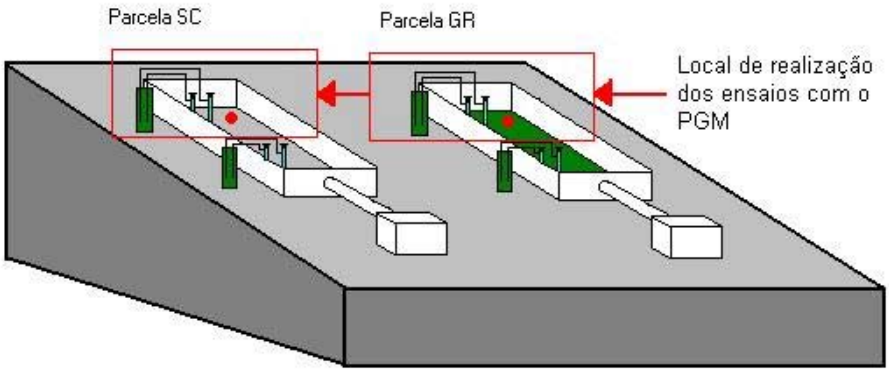


Figura 3. Esquema das parcelas de erosão na Estação. No detalhe, indicação do local de realização dos ensaios com o PGM.

Figura 4. Dois momentos do ensaio com o PGM na Estação: a) Ensaio na GR; b) Ensaio na SC.

## RESULTADOS

Na primeira bateria de ensaios com o PGM, os resultados mostraram que a condutividade dos dois pontos é a mesma na profundidade de 25 cm. Segundo Arruda (2004), as parcela SC e GR apresentam texturas similares (franco-arenosas) na profundidade de subsuperfície. Isto talvez possa estar influenciando na similaridade da condutividade destes sistemas.

Na segunda bateria de ensaios, mais superficial (10 cm), foi possível observar de maneira satisfatória a influência das raízes da gramínea na condutividade do solo. Em valores numéricos, a condutividade hidráulica obtida no sistema SC é igual a 0,852141 x $10^{-3}$ $cm.s^{-1}$ (baixa) e no sistema GR é igual a 0,1414351 x $10^{-2}$ $cm.s^{-1}$ (média), segundo critério de classificação de solos (vide figura 1). Os trabalhos desenvolvidos por Arruda (2004) nas parcelas de erosão vêm corroborar com os resultados de condutividade hidráulica obtidos neste estudo. A autora verificou na parcela SC que a macroporosidade apresentou uma diminuição com o aumento da profundidade, variando de 22 % para 15% e a microporosidade apresentou um aumento de 25 % para 27 %. Já na parcela GR há uma homogeneidade da macroporosidade com percentuais de 20 % em ambas as profundidades e a microporosidade apresenta um aumento de 27% para 30%. Apesar da GR apresentar uma macroporosidade menor a homogeneidade dos valores de macroporosidade com o aumento da profundidade proporcionou conjuntamente com as raízes um aumento na condutividade hidráulica deste sistema.

Nesta bateria, foi também observado durante o ensaio no sistema SC, que nas primeiras 4 h de ensaio, não houve uma absorção expressiva da água pelo solo, provocando um "empoçamento" da água no furo de 10 cm de profundidade aberto para a realização do experimento. Após este período, a drenagem foi rápida e levaram-se outras 2:30 h para o fluxo de água atingir uma estabilidade e o ensaio ser terminado. O ensaio aconteceu desta forma devido ao alto grau de compactação da camada superficial do solo no sistema provocado, substancialmente, pela falta de cobertura vegetal e proteção natural de fatores externos.

Resumidamente, do ensaio realizado com o PGM foi possível obter os seguintes parâmetros, seguindo a metodologia proposta por Vieira (1998):

Tabela 1. Valores obtidos a partir dos ensaios com o PGM na profundidade de 10 cm: taxa de infiltração; condutividade hidráulica do solo em condições de saturação ($K_s$); fluxo matricial potencial do solo(Φ); sortividade (S).

| Tipo de uso | Taxa de infiltração (mm/h) | $K_s$ (cm/s) | Φ ($cm^2/s$) | S ($cm/s^{1/2}$) |
|---|---|---|---|---|
| SC | 72,84 | 0,852141 x $10^{-3}$ | 0,0213 | 0,0875 |
| GR | 80,93 | 0,1414351 x $10^{-2}$ | 0,0354 | 0,0793 |

Com base nestes mesmos dados, Costa *et al* (2005) estimou as curvas de infiltração para os dois sistemas a partir dos modelos de Philip (1957) e Horton (1933). A autora concluiu que nenhuma os modelos foi capaz de descrever o processo em sua plenitude, devido à compactaçao observada em campo, com dito anteriormente. Porém, se desconsiderarmos este fato e analisarmos somente a partir da descompactação da camada superficial, têm se que a simulação pela equação de Horton (figura 5) gerou curvas de infiltração mais coerentes com o observado, uma vez que grande parte da infiltração da GR ocorreu na primeira hora do ensaio enquanto que na SC o processo foi mais demorado. Segundo o modelo, atingiu-se a estabilidade em 40 min na GR e a parcela SC somente após 2h e 20 min.

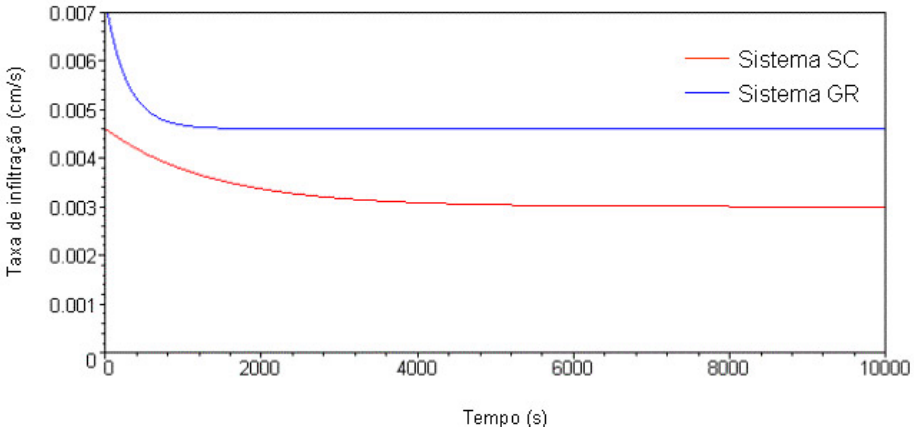


Figura 5. Taxa de infiltração ao longo do tempo para os sistemas SC e GR na profundidade de 10 cm (Equação de Horton).

Os resultados obtidos através do potencial matricial durante os ensaios indicam que a parcela SC demorou cerca de 4:30h para variar de -6,5 a -0,3kPa na profundidade de 15cm, enquanto que, na profundidade de 30cm, houveram alterações significativas somente após 4:30h de experimento, onde registrou-se a variação de -6,5 a -3,9kPa nas duas horas finais do ensaio, como é possível observar na figura 4. Isto é explicado pelo alto grau de compactação da camada superficial da parcela sem cobertura vegetal que pode está acarretando efeitos nas propriedades físicas e, consequentemente, dificultando as condições de infiltração, como descrito anteriormente (figura 6).

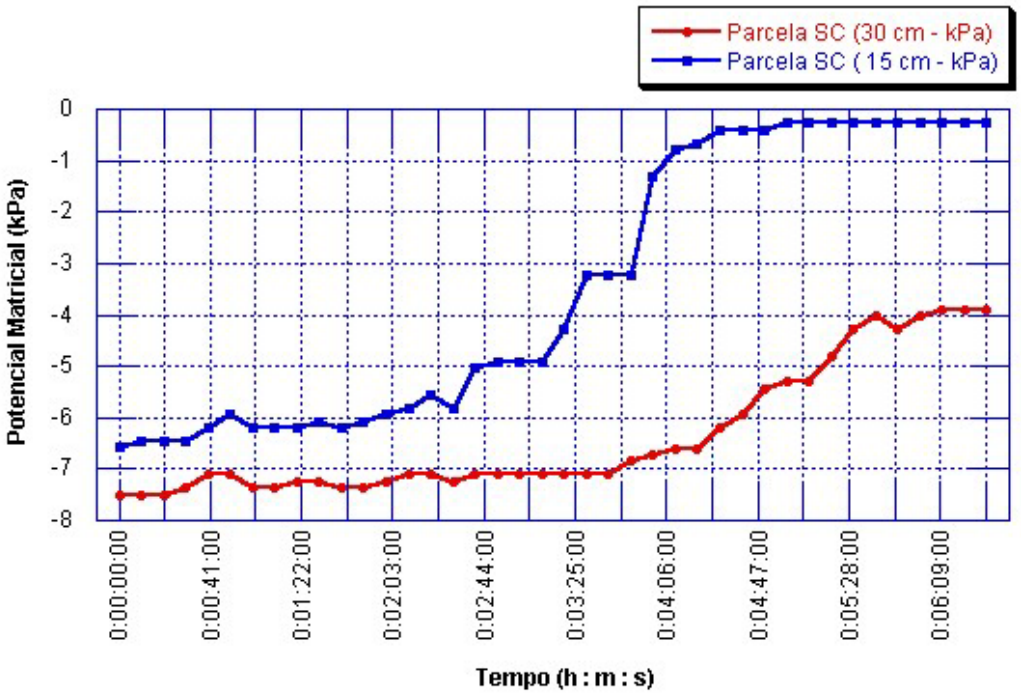


Figura 6. Potencial matricial registrado na parcela SC durante o ensaio com o PGM.

Por outro lado, o potencial matricial da parcela GR, apresentou respostas bem distintas: na profundidade de 15cm, a variação foi de cerca de -3 kPa e foi registrada um processo de drenagem ao invés de saturação gradativa com esperava-se; os valores na profundidade de 30cm praticamente não registraram variação, ficando os registros em valores próximos a - 4 kPa (figura 7). Os resultados da parcela de GR demonstraram que, na profundidade superficial, os sistemas radiculares influenciaram diretamente no comportamento do fluxo de

água dentro do solo e a existência de uma descontinuidade hidráulica nesta camada mais superficial, apesar do curto intervalo de tempo do ensaio.

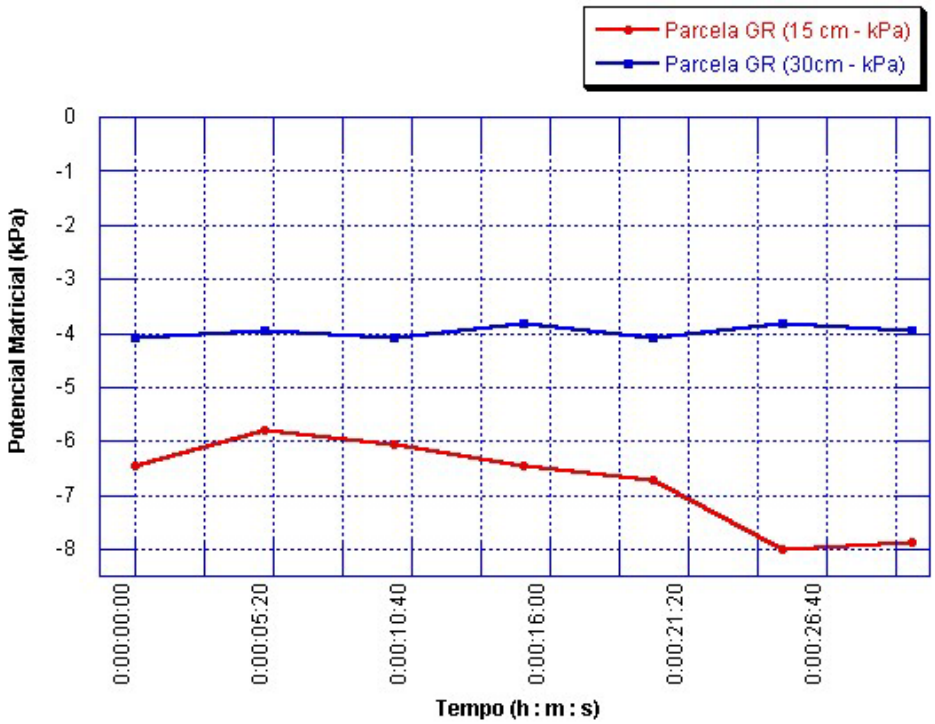


Figura 7. Potencial matricial registrado na parcela SC durante o ensaio com o PGM.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da caracterização da condutividade hidráulica e do comportameto do fluxo de água, neste evento, na camada superficial, foi possível concluir que o sistema SC possui baixa capacidade de drenagem, tendendo para o acúmulo de água nesta camada por um longo período de tempo até a total saturação nesta profundidade. Tal fato, pôde ser confirmado pelos potenciais matriciais registrados durante este mesmo ensaio, que indicaram um significativo aumento da taxa de drenagem para camadas inferiores após 4 h de ensaio.

No entanto, o sistema GR apresentou uma capacidade de percolação da água pelo solo maior que o sistema anterior (considerada média). Isto foi confirmado pelos registros de potencial matricial na profundidade de 15 cm, que drenou este fluido logo no início do ensaio. Porém, na profundidade de 30 cm, não houve alteraçao significativa de potencial.

Desta forma, vê-se a necessidade de estudos posteriores, especialmente em relação à área com cultivo de gramínea, de forma a melhor justificar seu comportamento hidrológico na camada superficial e sub-superficial.

## REFERÊNCIAS

ARRUDA, E. F. S; **Avaliação dos processos hidrológicos e erosivos da estação experimental do departamento de geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro / FFP – Rio de Janeiro.** (Monografia) São Gonçalo: Departamento de Geografia da UERJ/FFP, 74 p.,2004.

BARCELOS, A.A.; CASSOL, E. A. & DENARDIN, J. E. Infiltração de água em um latossolo vermelho-escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 23, p.35-43. 1999.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 98p.

COSTA, A.R.C; BERTOLINO, A.V.F.A.; NORKUS, M.A.; BERTOLINO, L.C. & FERNANDES, N.F. Estimativa da curva de infiltração através de dois modelos matemáticos em parcelas de erosão com diferentes usos. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Anais...** Recife: UFPE, 2005. CD-ROM.

HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrologic cycle**.** In: **Tras. Am. Geophys. Un***.,* 14th Ann. Mtg., p.460-466 .1933.

LELES, C.M.D. **Caracterização das propriedades físicas dos solos da Estação Experimental do Departamento de Geografia – FFP.** (Monografia) São Gonçalo: Departamento de Geografia - UERJ/FFP, 2003. 63 p.

PHILIP, J. R. The theory of infiltration. 1. The infiltration equation and its solution. In: **Soil. Sci.,**v. 83, p.345-357. 1957.

PREVEDELLO, C.L. **Física dos solos com problemas resolvidos.** Curitiba: C.L. Prevedelo, 1996. 446p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** São Paulo: Manole, 1987. 188p.

REYNOLDS, W.D. **The Guelph permeameter method for in situmeasurement of field-saturated hydraulic conductivity and matric flux potential.** (PhD Thesis). Guelph: University of Guelph, Canada. 1986. 345p.

STEPHENS, D. B. **Vadose Zone Hydrology**. New York: Lewis Publishers, 1996. 347p.

VIEIRA, B. C. **Caracterização *in situ* da condutividade hidráulica dos solos e sua influência no condicionamento dos deslizamentos da bacia do rio Papagaio, maciço da Tijuca (RJ).** (Dissertação) Rio de Janeiro: Departamento de Geografia – UFRJ, 2001. 130p.

VIEIRA, S. R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. In: **O Agronômico.** Campinas, v. 47-050, p. 32-33, 1998.